

近地层O₃对农作物及有关物质的影响和危害

王春乙 潘亚茹
(气象科学研究院农气中心)

提要 由于人类活动的增加及汽车、工厂不断向大气排出一次性污染物,使近地层O₃含量渐趋增加,对农作物生长发育及产量形成造成明显的不利影响。本文简要介绍了国内外有关不同O₃浓度、剂量处理对农作物、人类健康及有关物质材料的影响和危害,这对我们今后开展这方面的研究是有益的。

一、引言

近年来,人类活动对气候变化以及气候变化对农业生态系统的可能影响已愈来愈引起人们的重视,造成气候变化的主要原因之一是由人类活动的增加,向大气不断排放出大量的温室气体(CO₂、O₃、CH₄、N₂O、CFC等)和各种有毒的污染物(光化学氧化剂,如O₃、PAN等),CO₂的温室效应及对农业生态系统的影响已成为国际气候学界最关心的中心问题之一^[1,2]。近几年,大气中的痕量气体特别是近地层O₃浓度在不断升高,它对农作物生长发育和产量形成的影响和危害也已引起科学家们的注意,并成为一個需要研究解决的重要问题。

O₃大多是由排入大气的氮氧化物和碳氢化物等一次性污染物经一系列光化学反应生成的。由于人类活动的增加,工业的迅猛发展,汽车、工厂等排出的污染物增多,除了破坏高层臭氧层外,也使近地层大气中的O₃含量渐趋增加,并对农作物的生长发育和产量形成、森林植被以及对人类健康、物质材料均造成明显的不利影响。

二、O₃对农作物的影响和危害机制

目前,美国、英国、日本等一些发达国

家,对近地层O₃的探测及O₃浓度的时空分布规律展开了研究。据报道,美国于1944年在洛杉矶地区最早发现了氧化剂对蔬菜的危害作用,O₃是光化学烟雾中最主要的植物毒性组分,很多植物对于氧化剂大气污染是比较敏感的,多年来就是利用某些植物作为氧化剂污染的一种指示物,O₃能够在各种植物中发生生化变态效应,以致影响植物群落和农业生态环境,对农作物造成危害的O₃浓度值一般认为在0.05—0.10 ppm之间,或者在0.03ppm中暴露八小时,或者在0.10 ppm中暴露三小时^[3]。

在美国,空气中的O₃造成冬小麦、棉花、玉米、大豆以及其它主要农作物减产,损失每年都在20亿美元以上,就1981—1983年而言,由模式对4种作物和干草的产量的减少程度和对产值的影响进行了计算^[4](见表1)。从表1中可以看出对大豆影响最大,其次是棉花,再次才是玉米、干草、冬小麦,也就是说O₃对油料作物的影响较经济作物及其它作物大。

近年的研究表明,O₃对农作物的影响和危害机制为:O₃是从植物的气孔进入植株体内,进入体内后首先伤害细胞的质膜,使膜的一定部位受到损伤,由于细胞膜的透性增加,使细胞内活性物质流失,影响正常能量

表 1 O₃对农作物产量的影响(1981—1983年)

作物	由于O ₃ 导致产量减少值(%)	1982年作物产值(10亿美元)
玉米	2	19.4
大豆	12	12.5
干草	3	9.6
冬小麦	3	9.5
棉花	8	3.4
总计	5	54.4

流的传递,进而影响各类物质进入细胞,最终导致光合作用的减弱。另外,由于细胞被膜透性增加,进而导致卡尔文中间产物的损失和CO₂固定速率的减慢,也使光合作用受到抑制。同时,O₃本身也会妨碍光合作用中的一部分电子传导系统,还会破坏叶绿体,由于光合作用系统受到了阻碍,使物质累积量下降,从而降低产量^[5]。

据最近研究表明,影响光合作用的主要原因之一是O₃破坏了植物的叶肉组织和栅栏组织^[5],进而得出了O₃对双子叶植物的影响和危害大于单子叶植物。

三、O₃对农作物影响和危害的试验研究方法

进行这项试验研究均采用大致相同的野外开顶式蒸气小室,在小室内利用盆栽或直播各种供试验的作物,进行接触处理。在试验中可以采用不同O₃浓度、不同暴露时间的多种处理方法,每种处理可设多次重复,并设有对照与之比较。

开顶式圆柱形蒸气小室,一般高2.4米,直径3.0米,铝合金框架构成,周围环以PVC塑料薄膜。这种小室分为上下两层,下层由两层薄膜构成,内膜上均匀分布着同等大小的小孔,同时,下层与内部装有活性碳的方盒相连,这个方盒的通管再与O₃发生器相接,当O₃生成并经过滤后进入小室的下层,进而均匀扩散。有的还在开顶式小室顶部附加一个锥形筒,顶口直径为2米,使气流经过小室时发生抬升作用,以防止周围空气进入,保持小室内空气的均一性,锥形筒上方

也可再加一个伞形顶盖,起到防雨作用^[6]。O₃

美国环境保护局环境研究试验室的W E.Hogsett等人对O₃的释放和控制做了试验研究^[6]。O₃是由火花放电型O₃发生器生成的利用纯氧作为反应气体,以防止其它不必要的污染物,提供稳定的O₃源。O₃流出量由让计算机直接控制,然后经过不同的导管进入各个小室,小室内的O₃浓度是用Dasibi 1003A-H型O₃监测仪测定的,取样是通过插入小室内的一个1/4英寸的聚四氯乙烯塑料管来完成的,这个管大约靠近冠层的高度。各试验小室内O₃浓度是由连续取样确定的,一般每小时取样9次,各个小室所需的O₃及环境资料均由计算机自动采集、处理和输出。

美国作物损失评价研究委员会的Walter W.Heck^[7]等人利用这种开顶式小室对不同农作物进行了这项试验。具体为,在每一个研究地点所选择的试验资料见表2^[4],每一试验地点的O₃浓度处理见表3^[4],在表3中,AA处理为小室外周围空气中的O₃浓度,CF为对照,其它4个处理分别为,处理NF-1,处理NF-2,处理NF-3,处理NF-4,表中的O₃浓度值为每天暴露7小时(时间0900—1600)的季节平均值。

表 2 每个地点所选择的试验资料

地点	东北	东南	东南	中部(州)	西南
作物	菜豆	花生	萝卜	大豆	莴苣
播种日期	13/6	22/5	10/10	24/6	8月末
O ₃ 开始供应	20/8	16/6	20/10	6/8	1/9
O ₃ 停止供应	10/9	6/10	30/11	9/10	13/11
收获	10/10	10/7	1/12	14/10	16/11

表 3 每个地点不同处理的O₃浓度

处理	平均O ₃ 浓度(ppm)				
	东北	东南	东南	中部(州)	西南
AA	0.040	0.056	0.031	0.042	0.106
CF	0.025	0.025	0.014	0.022	0.043
NF-1	0.053	0.056	0.034	0.042	0.106
NF-2	0.086	0.076	0.056	0.064	
NF-3	0.128	0.101	0.081	0.089	0.149
NF-4	0.162	0.125	0.096	0.115	

四、不同 O₃ 浓度和剂量对农作物影响和危害的试验研究结果

1. 不同 O₃ 浓度对农作物的影响和危害: 试验室和田间试验研究证明,不同 O₃ 浓度可降低农作物的光合作用速率、净光合强度、气孔传导能力以及水分利用率等,以致于影响农作物的生长发育和产量形成,最终导致作物产量降低^[5,10]。例如,当 O₃ 浓度为 0.05 ppm 时,可使冬小麦、棉花减产 7%,花生减产 10%,大豆减产 12%;当 O₃ 浓度为 0.06 ppm 时,大豆可减产 17%;当 O₃ 浓度增至 0.09 ppm 时,可使大豆减产高达 30%^[11]。将水稻、小麦、大豆、花生等作物以及黄瓜、蕃茄等蔬菜用接触法进行不同 O₃ 浓度的处理,研究表明,浓度在 0.10 ppm,对全生育期进行接触处理时,上述作物和蔬菜的生长发育受到强烈抑制,产量明显下降;浓度在 0.05 ppm 时,对许多作物也有一定的影响,这个浓度可能还是敏感作物受污染危害的临界指标^[5,6]。P.J.Temple 等人的研究表明,O₃ 和水分胁迫可降低冠层温度与空气温度之差(T_c-T_a),水分胁迫可降低蒸散(ET),但还没有发现 O₃ 对蒸散的直接影响,另外 O₃可降低水分利用率(WUE)^[10]。又据报道,当 O₃ 浓度分别为 0.05 ppm、0.09ppm、0.13ppm 时与基准 O₃ 浓度为 0.01 ppm 时相比较,可使叶片净光合强度分别降低 10%、11%和 22%。O₃对农作物的危害一般表现为早熟、叶肉细胞死亡,光合作用速率与生长发育缓慢、植株和叶绿素含量下降

等。

Walter W.Heck 等人的试验研究结果还表明,对同一种作物,随着 O₃ 浓度的升高,产量也在下降(见表 4)。从表 4 可知,对于相同的 O₃ 浓度处理,不同的作物的响应也有所不同。O₃ 浓度升高,作物产量下降,两者呈负的线性相关关系,对于不同的作物的线性响应方程见表 5。表中,y 表示产量(克/株),x 表示整个生长季每天 7 个小时的 O₃ 平均浓度。Walter W.Heck 等人的研究还表明,O₃浓度对不同作物、不同品种的影响具有一定的下限值,常称安全系数值。不同 O₃ 浓度对不同农作物产量影响的条件线性响应方程见表 6。式中,y 和 x 同表 5。若 $x \leq \theta$, $y = b_0$; $x > \theta$, $y = (b_0 - b_1\theta) + b_1x$ 。 θ 为 O₃ 浓度对农作物产量影响的临界值,当 O₃ 浓度为 θ 或低于 θ 值时,对作物产量没有影响,此时,作物产量为 b_0 , b_1 为线性部分所对应方程的斜率。从表 5 和 6 可知,不同 O₃ 浓度对不同作物产量的影响均呈负的线性关系,浓度升高,作物产量下降,不同作物遭受影响和危害的临界浓度也是不同的,同样的 O₃ 浓度对农作物产量的影响和危害,蔬菜大于油料作物,油料作物又大于粮食作物。

2. 不同 O₃ 剂量对农作物的影响和危害: 在研究 O₃ 对农作物的影响和危害中,常常采用剂量(Dose)这个概念。O₃ 剂量就是调查者周围空气中 O₃ 浓度同周围空气浓度的比值与时间的乘积。瞬时剂量是初始 O₃ 浓度的函数,总剂量是初始 O₃ 浓度的函数乘以时间^[12]。如果初始 O₃ 浓度不是常数,

表 4 不同 O₃ 浓度对作物产量的影响

处 理	作 物 产 量 (克/株)							
	大 豆	花 生	萝卜(JR)	萝卜(PT)	萝卜(SH)	萝卜(TC)	菜 豆	莴 苣
AA	19.0	157.8	5.12	3.10	1.94	6.18	14.5	414
CF	20.4	142.3	10.14	6.00	4.61	14.27	16.1	857
NF-1	18.4	122.4	11.23	6.10	4.04	15.30	15.8	414
NF-2	14.9	92.0	8.69	4.69	3.79	14.98	15.2	
NF-3	11.7	68.9	4.35	3.00	1.74	7.03	12.2	251
NF-4	9.4	40.0	3.84	2.41	2.06	6.30	11.8	

表 5 O₃浓度对不同作物产量影响的线性响应方程

作物	线性方程	相关系数(R ²)	预测产量减少值(克/株)		
			0.025ppm	0.06ppm	0.10ppm
玉米	$y = 247.8 - 260x$	0.65	241.3	232.2	221.8
菜豆	$y = 16.8 - 31x$	0.84	16.1	14.9	13.7
大豆	$y = 23.5 - 126x$	0.96	20.3	15.9	10.9
莴苣	$y = 1065.7 - 5978x$	0.94	916.2	707.7	467.9
花生	$y = 173.2 - 1046x$	0.99	147.1	110.4	68.6
菠菜	$y = 22.7 - 106x$	0.98	20.1	16.3	12.1
萝卜	$y = 12.9 - 94x$	0.86	10.6	7.3	3.5
小麦	$y = 6.6 - 18x$	0.92	6.2	5.5	4.8

表 6 O₃浓度对不同作物产量影响的条件响应方程

作物	条件线性方程式	相关系数(R ²)	预测产量减少值(克/株)		
			0.025ppm	0.06ppm	0.10ppm
花生	$y = 142.3 \quad x \leq \theta = 0.037$ $y = 184.6 - 1160x \quad x > 0.037$	0.99	142.3	115.0	68.6
萝卜	$y = 10.7 \quad x \leq \theta = 0.038$ $y = 15.5 - 127x \quad x > 0.038$	0.96	10.7	7.8	2.8
小麦	$y = 4.9 \quad x \leq \theta = 0.087$ $y = 8.2 - 38x \quad x > 0.087$	0.99	4.9	4.9	4.4

总剂量为所要研究的特定时间内平均 O₃ 浓度对时间的积分, 表达式如下:

$$Dose = \int_0^t c(u) du$$

$$\text{或 } c(t) = q(t)/m$$

这里, $c(u)$ 为时间 u 时的浓度, $c(t)$ 为时间 t 时的浓度, $q(t)$ 为时间 t 时, 实体 m 中污染物的量, m 为周围空气实体的质量。 $q(t)$ 是时间的函数, 可由下式计算:

$$q(t) = \int_0^t I(\xi) R_s(t-\xi) d\xi$$

这里, $I(\xi)$ 为任意时刻的吸收率, $R_s(t-\xi)$ 为时间 $(t-\xi)$ 后, 仅有吸收情况下所占的比例。

R.J.Oshima 等人在研究不同 O₃ 剂量对农作物产量的影响中, 建立了苜草产量(Y)和叶面积(L)同 O₃ 剂量(D)、平均日最高气温(TH)、平均日最低气温(TL)、平均日相对湿度(RH)之间的多元线性回归关系。苜草产量(Y)同 D 、 TH 、 TL 、 RH 之间的不同组合方程见表 7^[13]。从各方程式可以看出, O₃ 剂量同苜草产量呈负的线性关系。

表 7 D、TH、TL、RH等因子对苜草产量的影响

因子组合	方 程 形 式	F 值
$Y \times D$	$Y = 162.4 - (0.01503 \times D)$	
$Y \times D \times TH$	$Y = 395.0889 - (0.0125 \times D) - (2.8164 \times TH)$	15.449**
$Y \times D \times TL$	$Y = -166.3028 - (0.01406 \times D) + (5.8919 \times TL)$	21.381**
$Y \times D \times RH$	$Y = 168.0667 - (0.0179 \times D) + (1.1107 \times RH)$	15.419**
$Y \times D \times TH \times TL$	$Y = 25.6715 - (0.0132 \times D) - (1.2566 \times TH) + (4.3117 \times TL)$	13.987**
$Y \times D \times TH \times RH$	$Y = 544.3926 - (0.0167 \times D) - (3.457 \times TH) - (1.703 \times RH)$	9.463*
$Y \times D \times TL \times RH$	$Y = -39.7543 - (0.0174 \times D) + (4.2767 \times TL) - (0.5351 \times RH)$	14.654*
$Y \times D \times TH \times TL \times RH$	$Y = 237.1657 - (0.0166 \times D) - (2.4218 \times TH) + (4.0032 \times TL) - (1.7644 \times RH)$	9.148*

** 表示通过0.01显著水平, * 表示通过0.05显著水平

表 8 D、TH、TL、RH 等因子对苜草叶面积的影响

因 子 组 合	方 程 形 式	F 值
$L \times D$	$L = 0.6398 - (1.941 \times 10^{-5} \times D)$	
$L \times D \times TH$	$L = .6976 - (1.8787 \times 10^{-5} \times D) - (7.0017 \times 10^{-4} \times TH)$	12.032**
$L \times D \times TL$	$L = .6549 - (1.9455 \times 10^{-5} \times D) - (2.7253 \times 10^{-4} \times TL)$	11.573**
$L \times D \times RH$	$L = .6893 - (2.3155 \times 10^{-5} \times D) - (7.730 \times 10^{-4} \times RH)$	11.949*
$L \times D \times TH \times TL$	$L = .8788 - (1.8455 \times 10^{-5} \times D) - (1.4653 \times 10^{-3} \times TH) - (2.1150 \times 10^{-3} \times TL)$	7.097*
$L \times D \times TH \times RH$	$L = .3014 - (2.4361 \times 10^{-5} \times D) + (1.0964 \times 10^{-3} \times TH) + (3.5631 \times 10^{-3} \times RH)$	6.956*
$L \times D \times TL \times RH$	$L = .8398 - (2.3472 \times 10^{-5} \times D) - (3.0520 \times 10^{-4} \times TL) - (3.0976 \times 10^{-3} \times RH)$	7.441*

式中符号**和*所表示的意义同表 7

表 9 不同O₃剂量对苜草产量、叶面积与总重量之比减少百分率的影响

O ₃ 剂量 (ppm)	预测Y ₁ 减少 百分率	在95%可信度时Y ₁ 的变化范围		预测Y ₂ 减少 百分率	在95%可信度时Y ₂ 的变化范围	
		上 界	下 界		上 界	下 界
0	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	3.8
250	2.3	0.0	16.3	0.8	0.0	4.3
500	4.6	0.0	17.7	1.5	0.0	4.8
750	6.9	0.0	19.1	2.3	0.0	5.3
1000	9.5	0.0	20.6	3.0	0.2	5.9
1250	11.6	1.0	22.2	3.8	1.1	6.5
1500	13.9	3.9	23.9	4.6	2.0	7.1
1750	16.2	6.5	25.9	5.3	2.9	7.7
2000	18.6	9.1	28.0	6.1	3.7	8.5
2250	20.8	11.4	30.3	6.8	4.4	9.2
2500	23.1	13.6	32.7	7.6	5.2	10.0
2750	25.5	15.5	35.4	8.3	5.8	10.9
3000	27.8	17.3	38.3	9.1	6.5	11.8

苜草的叶面积(L)同D、TH、TL、RH之间的不同组合方程见表 8^[13]。此表说明了苜草的叶面积同 O₃ 剂量亦呈负的线性关系。

为了进一步研究 O₃ 剂量对苜草产量的影响, R.J.Oshima等人还建立了苜草产量减少百分率同 O₃ 剂量之间的线性关系和苜草叶面积与总重量之比的减少百分率同 O₃ 剂量之间的线性关系。

O₃ 剂量同苜草产量减少百分率的方程式为:

$$Y_1 = -1.068 \times 10^{-4} + (9.258 \times 10^{-3} \times \text{Dose})$$

O₃ 剂量同苜草叶面积与总重量之比的减少百分率方程式为:

$$Y_2 = -1.717 \times 10^{-5} + (3.030 \times 10^{-3} \times \text{Dose})$$

在上两式中,Y₁、Y₂分别为苜草产量、叶面积与总重量之比的减少百分率。

不同 O₃ 剂量对苜草产量和叶面积与总重量之比减少百分率的影响详见表 9^[13]。

从表 9 可以看出, O₃ 剂量越大, 减少百分率就越大, 产量越低。另外, 在给定剂量的情况下, O₃ 的短期暴露比长期暴露对作物的危害要小一些^[13]。

至于应建立的保护作物的 O₃ 剂量临界指标, 迄今还尚未有定论, 各家说法不一, 有待进一步研究。

五、O₃ 对人类健康及物质材料的影响

O₃ 对人类健康的直接危害发生在呼吸系统, 有时也会导致间接的头痛、胸闷等全身症状。O₃ 的嗅觉阈值对于敏感者为 0.008—

0.02 ppm, 对眼睛刺激的阈值为0.10ppm。长期研究结果表明, 每小时0.05—0.10 ppm 的浓度值可以作为保护公众健康的 临界指标^[14]。

1980年8月24日及9月6日在兰州发生光化学烟雾的日子里, 曾对16个单位的2561人的自觉感受病状进行了调查^[15]。结果表明: 眼睛感到刺激(以干涩、流泪、畏光为主)的人数约占76.5%; 头晕的占49%; 头痛的占37%; 咳嗽、胸闷、呼吸困难等共占35%; 恶心的占25.4%; 咽干、咽痛的占22.5%; 鼻塞、流鼻涕的占18.6%。

O₃可以对油漆涂料、天然和合成橡胶、纺织纤维和染料等造成危害, 它可以使橡胶老化、断裂, 染料退色等。据美国1970年的统计结果表明^[16], 全年由于O₃造成的损失分别为: 油漆涂料2.5亿美元, 合成橡胶5.69亿美元, 纺织纤维和染料退色0.84亿美元。总计一年对所有物质材料的影响损失可达12.2亿美元以上。

六、结 论

1. 不同O₃浓度与各种农作物产量呈负的线性相关关系。O₃浓度越高, 作物产量越低。

2. 不同O₃剂量与各种农作物产量亦呈负的线性相关关系, 相关系数可达-0.827。O₃剂量越高, 作物产量越低。

3. 同一O₃浓度, 对不同作物的影响和危害程度也有所不同。蔬菜大于油料作物, 油料作物大于粮食作物。

4. O₃对人类健康有着直接的影响, 影响途径是呼吸系统, 当然更多的影响还有待于研究。

5. O₃可对有关物质材料造成明显的危害。如油漆涂料、纺织纤维、染料等。

参 考 文 献

- [1] 张家诚, 二氧化碳的气候效应与华北干旱问题, 气象, 1989, Vol.15, No.3.
- [2] 丁一汇, 气候变化对生态系统和农业的影响, 气象, 1989, Vol.15, No.5.
- [3] U.S.EPA, EPA-600/8-78-004, 1978.
- [4] Walter W.Heck, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reduction: part 8. An Effective mean O₃ crop reduction mathematical model, Journal of the air pollution control association, 1984, Vol.34, No.10.
- [5] 松冈义浩, 农作物的光氧化剂危害和对策, 国外农学——植物保护, 1986, No.4.
- [6] W.E.Hagsett, A programable pollutant exposure control system for determination of the effects of pollutant exposure regimes on plant growth, Atmospheric environment, 1985, Vol.19, No.7.
- [7] Walter W.Heck, Assessment of crop loss from Ozone, Journal of the air pollution control association, 1982, Vol.32, No.4.
- [8] Gerrit Kats, C.R.Thompson and W.C.Kuby, Improved ventilation of open top greenhouses, Journal of the air pollution control association, 1976, Vol.26, No.11.
- [9] J.M.Davis and H.H.Rogers, Wind tunnel testing of the open top field chambers for plant effects assessment, Journal of the air pollution control association, 1980, Vol.30, No.8.
- [10] P.J.Temple, 臭氧和水分不足对苜蓿冠层温度、蒸发和水分利用率的影响, 国外农学——农业气象, 1989, No.4.
- [11] Admas S, Research assess Ozone damage to crops, Agricultural research, 1986, Vol.34, No.10.
- [12] Allen S.Lefohn and V.C.Runeckles, Establishing standards to protect vegetation---Ozone exposure---dose considerations, Atmospheric environment, 1987, Vol.21, No.3.
- [13] R.J.Oshima, M.P.Poe, P.K.Braegelmann, Ozone dosage---crop loss function for alfalfa: A standardized method for assessing crop losses from air pollutants, Journal of the air pollution control association, 1976, Vol.26, No.9.
- [14] 世界卫生组织, 光化学氧化剂(环境卫生基准之七, 1979), 环办外事处译本, 1982.
- [15] 唐孝炎等, 大气环境质量标准中的光化学氧化剂, 中国环境科学, 1984, Vol.4, No.1.
- [16] Committee on medical and biologic effects of environmental oxidants, National academy of science, Washington D.C., 1977.